



XIAYIDAI YINTEWANG
JIQI XINJISHU

下一代因特网 及其新技术

敖志刚 编著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

下一代因特网及其新技术

敖志刚 编著



国防工业出版社

内 容 简 介

因特网正在改变着人们的生产方式、工作方式、生活方式和学习方式。下一代因特网将给每一个人带来新的便捷、新的感受和新的变化,将引导人类走向新时代。全书系统和全面地反映了下一代因特网的精髓、核心内容、技术体系、研究现状和最新发展方向。其主要内容涉及到下一代因特网的基础知识、体系结构、技术原理、IPv6 协议、研究与应用;几种新的因特网组网模式,如光因特网、量子因特网、语义网、全息网、网格计算、下一代网络、物联网、无线传感器网络和下一代接入网等;几种下一代因特网的技术实现途径,如 10Gb、40Gb 和 100Gb 以太网、射频识别技术、云计算、新型传感器技术,等等。

本书构思新颖、内容丰富、深入浅出,强调先进性、实用性和可读性,适用于业余爱好者自学;可作为高等院校学生选修课和专业培训的教材或教学参考书;也可作为在信息领域学习的本科生和研究生的必修课教材或教学参考书;还可供从事因特网规划、设计、安装、管理的工程技术人员以及从事因特网研究、开发、教学的科研人员和教师研读。

图书在版编目(CIP)数据

下一代因特网及其新技术/敖志刚编著. —北京:
国防工业出版社, 2013. 1
ISBN 978-7-118-08318-7

I. ①下… II. ①敖… III. ①互联网络—研究 IV.
①TP393.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 253680 号

※

国防工业出版社出版发行
(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)
涿中印刷厂印刷
新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 25¼ 字数 581 千字
2013 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 65.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777
发行传真:(010)88540755

发行邮购:(010)88540776
发行业务:(010)88540717

前 言

因特网是 20 世纪人类最伟大的发明创造之一,比人类历史上的任何科学发明都更加广泛、更加深入地影响着社会生活的各个领域、各个层面、各个环节、各个时段。每个人将因因特网而更加智慧、快乐和幸福;整个社会也将因因特网而更加发展、文明和进步。

经过半个世纪的发展,因特网已经逐渐演变成为一个复杂的巨系统:网络规模 and 用户数量巨大。据工信部统计,到 2011 年底,我国网民规模达 5.13 亿,居世界首位;世界因特网信息流量依旧保持着指数增长的趋势。随着超高速光和无线移动通信、高性能低成本计算和软件等技术的迅速发展,以及因特网创新应用的不断涌现,人们对因特网的需求越来越高,现在的因特网已越来越不适应时代的要求,必须进入下一代。

以 IPv4 协议为核心技术的因特网面临着越来越严重的技术挑战,主要包括:网络地址、带宽和速度不足,难以更大规模扩展,应用受到限制,网络安全漏洞多,可信任度不高,网络服务质量控制能力弱,网络性能较低,新设备接入和部署新协议困难,多网络融合、管理和新技术支持难以实现以及不可预测。因此,以 IPv6 为中心和许多相关新技术为主体的下一代因特网应运而生,并且正在逐步完善。下一代因特网的主要特征是比目前因特网更大、更快、更及时、更方便、更融合、更安全可信、更可控可管以及更有效益。主要表现在它是一个“即插即用、无处不在、无所不达、永远在线、应用为先、我行我素、可信可管、资源共享、良性互动”的网络。可见,因特网的下一个时代将是物体全面互联、客体准确表达、人类精确感知、信息智慧解读的时代。

下一代因特网是伴随着许多新技术的出现和发展而成长的。光因特网作为一株亮丽的奇葩,凭借其接近无线的带宽潜力和卓越的传送、复用、交换和选路而备受关注。量子因特网将以惊人的计算和超快速通信能力迈入新时代,展现其新的魅力。语义网是第三代 Web,它使人与因特网之间的交流变得像人与人之间交流一样轻松。全息网以全息思维设计、完善和改造因特网,为人类走向自由王国开启了一扇全新之门。网格计算是因特网发展的前沿领域,其本质是全球万维网升级到全球大网格。未来理想的网络模式是下一代网络,这是一种多业务和多网络的高效融合网。IPv6 的出现使因特网摆脱了地址和空间的限制,成为异构网络融合的粘接剂。目前市场上的因特网产品几乎是以以太网产品,已有 30 多年历史的以太网,由于不断更新技术,至今已发展到 10Gb 以太网,正在开发 40Gb 和 100Gb 以太网,从而为因特网的提速注入了新的活力,使以太网时至今日仍然焕发勃勃生机,令人刮目相看。物联网是因特网功能的扩展与延伸,以其在任何时间、任何地点建立人与物、物与物之间的沟通和连接,是下一代因特网的主要应用和高级表现

形式。RFID 技术与因特网和移动通信等技术相结合,无需与被识别物品直接接触,就可以实现全球范围内物品的跟踪与信息的共享,最终构成联通万事万物的因特网,被认为是 21 世纪十大重要技术之一。云计算作为一种基于因特网,动态、可伸缩且以按需服务方式提供计算资源的全新计算和商业模式,使用户通过因特网随时获得近乎无限、取用自由、按量付费的计算能力和丰富多样的信息服务。传感器特别是网络传感器是下一代因特网感知、获取与检测信息的窗口,为实现全球物理感知提供了可能。进一步发展起来的无线传感器网络,把传感器、嵌入式计算、分布式信息处理、无线通信技术和通信路径自组织能力融合在一起,使感知信息传输给千家万户。接入网是高速因特网中难度最高、耗资最大的一部分,是目前最有希望大幅提高网络性能的环节;如何大规模拓宽网络接入的瓶颈为全球现有的 10 亿多条接入线提供超宽频带,已是当前因特网技术发展的焦点。

本书是近几年世界科学研究的结晶,涉及了一些相对深入的下一代因特网的前沿技术问题和较新的研究成果。我们从不同侧面,不同应用角度,推陈出新地编著出了这本反映时代发展水平和趋向的新一代图书;既做到内容全面、语言简洁、叙述清楚,又注重基本概念的介绍,注意选取常用的主流新技术;既回顾了因特网的历史,更展望了下一代因特网的未来趋势和发展;力求在创新性、前瞻性和应用性等方面形成特色。

如何让广大读者和专业技术人员在一本书中就能掌握下一代因特网基本内容和新技术,是本书写作的主要目的。我们希望此书能成为您学习的向导、工具和良师益友。通过本书的梳理和抛砖引玉,进一步激发广大同仁对相关问题的思考和研究,把握业界前沿的科技和理念。本书将为您打开一扇通往未来的窗户,帮助您拓宽视野,完善知识结构,储备适用于未来网络产业的知识和技能。相信读者经过本书的阅读,一定会对下一代因特网技术有一个全面而深入的了解,从而真正指导实践工作,使您真正有所收获。

本书经过对下一代因特网的宏观分析和研究,经过对材料的精心选取和构思,从理论和实践相结合的角度,系统地介绍了下一代因特网的精髓、核心内容、基本理论和新技术体系。具体内容包括:下一代因特网的概况、研究现状、展望和 5 种体系结构;光因特网、量子因特网、语义网、全息网、网格计算和下一代网络 6 种组网模式;下一代因特网协议——IPv6 的基础知识、新版本、邻居发现协议、过渡技术和移动协议;10Gb 以太网概况、体系结构、物理子层功能与协议、物理层接口和传输模式;40Gb 和 100Gb 以太网的研究现状、性能指标、体系结构、光收发器和硬件实现方法;物联网概况、基本组成、体系结构、技术体系、标准化体系和具体应用;射频识别技术基本知识、系统结构、原理、电子标签、读写器和中间件;云计算基本知识、研究现状、发展趋势分析、体系结构和相关技术;传感器的技术基础、新型传感器和网络传感器;无线传感器网络概况、体系结构与协议和应用支撑技术;接入网基本知识、铜线接入(xDSL、HomePNA、以太网、有线电视网和电力线接入)、宽带光接入、无线个域网/局域网/城域网/广域网接入技术、接入网的部署和演进。本书力图把这些内容有机联系在一起,形成一个较为清晰、完整的体系。

本书构思新颖、深入浅出,强调先进性、实用性和可读性,适用于业余爱好者自学;可

作为高校学生选修课和专业培训的教材或教学参考书;也可作为在信息领域学习的本科生和研究生的必修课教材或教学参考书;还可供从事因特网规划、设计、安装、管理的工程技术人员,从事因特网研究、开发、教学的科研人员和教师研读。

本书由敖志刚编著,参加部分编写工作的还有唐长春、张康益、王有成、王冠、毕衡光、吴海平、康兴挡和王真军。我的妻子吴迎付出了许多汗水和劳动,解放军理工大学野战工程学院工程保障信息化教研中心的领导和同事们给予了许多关爱;国防工业出版社的领导和同志们给予了许多指点、帮助和辛勤周到的服务与工作,借此机会向他们表示衷心的感谢和敬意。

在编撰过程中,尽管我们力求精益求精,但由于作者理论水平和时间所限,对许多新技术的理解尚欠深入,不妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 著 者

2012 年 11 月 1 日

目 录

第 1 章 下一代因特网的基础知识	1
1.1 下一代因特网的概况	1
1.1.1 从第一代因特网到第三代因特网	1
1.1.2 现有因特网面临的挑战	2
1.1.3 下一代因特网的概念	4
1.1.4 研发下一代因特网的效应和推动力	5
1.2 下一代因特网的研究现状与展望	7
1.2.1 国外下一代因特网的研究现状	7
1.2.2 全球 IPv6 下一代因特网大规模试验网的发展状况	9
1.2.3 中国下一代因特网的发展状况	10
1.2.4 下一代因特网研究思路与展望	12
1.3 下一代因特网的体系结构	14
1.3.1 下一代因特网的基本需求与基本问题	14
1.3.2 下一代因特网的体系架构	15
1.3.3 下一代因特网的自治体系结构	15
1.3.4 多维可扩展的下一代因特网体系结构	18
1.3.5 下一代因特网综合业务体系架构	19
1.3.6 可信任下一代因特网可信性处理方案和体系结构	21
第 2 章 下一代因特网组网模式	23
2.1 几种新型的因特网	23
2.1.1 光因特网	23
2.1.2 量子因特网	29
2.1.3 语义网	33
2.1.4 全息网	40
2.2 网格计算	43
2.2.1 概念、特点与应用	43
2.2.2 网格系统的功能分析	44
2.2.3 网格的体系结构	45
2.2.4 网格计算的现状与发展趋势	48
2.3 下一代网络技术	49
2.3.1 下一代网络介绍	49
2.3.2 下一代网络的功能模型和所支持的协议	50

2.3.3	下一代网络的网络结构	52
2.3.4	下一代网络的关键构件	53
2.3.5	软交换及其系统架构	54
第3章	下一代因特网协议——IPv6	58
3.1	IPv6 的基础知识	58
3.1.1	IPv4 的缺陷	58
3.1.2	IPv6 的新特性分析	59
3.1.3	IPv6 的数据结构和首部格式	61
3.1.4	IPv6 中的地址	65
3.1.5	IP 扩展首部	69
3.2	ICMPv6 和邻居发现协议	72
3.2.1	ICMPv6	72
3.2.2	邻居发现协议	74
3.3	IPv4 向 IPv6 的过渡技术	79
3.3.1	IPv6 的演进阶段与策略	79
3.3.2	IPv6/IPv4 双栈协议	80
3.3.3	IPv6 穿越 IPv4 隧道技术	81
3.4	移动 IPv6	87
3.4.1	移动 IPv6 概述	87
3.4.2	移动 IPv6 工作原理和过程	89
3.4.3	移动报文格式	91
3.4.4	移动 IPv6 的优缺点和应用展望	95
第4章	10Gb 以太网技术	97
4.1	10Gb 以太网概述	97
4.1.1	10Gb 以太网的概念与技术特点	97
4.1.2	10GbE 技术要点	98
4.1.3	10Gb 以太网物理层规范的表达方式	99
4.1.4	10Gb 以太网协议标准	100
4.2	10Gb 以太网的体系结构	103
4.2.1	10Gb 以太网技术的层次模型	103
4.2.2	帧结构	104
4.2.3	物理传输介质	105
4.3	10Gb 以太网物理子层功能与协议	107
4.3.1	调和子层	107
4.3.2	10Gb 介质无关接口扩展子层	107
4.3.3	物理编码子层	109
4.3.4	广域网接口子层	112
4.3.5	物理介质附件子层	114
4.3.6	物理介质相关子层 PMD	116

4.4	10Gb 以太网物理层接口	117
4.4.1	XGMII 接口	117
4.4.2	10Gb 附加单元接口 XAUI	118
4.4.3	10Gb 16 位通道接口	120
4.5	10Gb 以太网传输模式	122
4.5.1	10Gb 以太网传输模式简介	122
4.5.2	10GBase-X 传输模式	123
4.5.3	串行的 10Gb 局域网 10GBase-R 传输模式	124
4.5.4	10GBase-W 传输模式	127
4.5.5	10GBase-LRM	128
4.5.6	铜缆 10GbE 10GBase-CX4 传输模式	128
4.5.7	双绞线铜缆 10GBase-T 传输模式	130
第 5 章	40Gb 和 100Gb 以太网	135
5.1	40Gb 和 100Gb 以太网的研究现状与性能指标	135
5.1.1	40Gb 和 100Gb 以太网的现状	135
5.1.2	IEEE 802.3ba 的目标和要求	137
5.1.3	100GbE 的速率变换	137
5.1.4	物理层端口规范	138
5.2	40GbE 和 100GbE 的体系结构	139
5.2.1	40GbE 和 100GbE 的结构模型	139
5.2.2	40GbE 和 100GbE 接口	140
5.2.3	RS 调和子层	142
5.2.4	PMA 物理介质接入子层	142
5.2.5	PCS 物理编码子层	143
5.2.6	PMD 物理介质相关子层	145
5.2.7	FEC 转发纠错子层和自协商 AN 子层	146
5.3	100GbE 光收发器	147
5.3.1	100GbE SMF 4 × 25Gb/s 光收发器	147
5.3.2	100GbE 多模光纤 10 × 10Gb/s 收发器	149
5.3.3	改进的 100Gb/s SMF 4 × 25Gb/s 收发器结构	149
5.4	100GbE 的硬件实现方法	150
5.4.1	100GbE PCS 和 PMA 层的并行处理方法	150
5.4.2	LSI 时钟方法	151
5.4.3	纠偏的方法	152
5.4.4	变速箱 LSI 的实现	153
5.4.5	基于汉明码的纠错	153
5.4.6	容错通道恢复机制	154
5.4.7	自动链路速度选择机制	155
5.4.8	40GbE 和 100GbE 铜缆和光缆规范的收发通道	155

第6章 物联网	158
6.1 概述	158
6.1.1 物联网概念及其由来	158
6.1.2 物联网的研究进展	160
6.2 物联网的基本组成和体系结构	163
6.2.1 物联网和其他网络之间的关系	163
6.2.2 物联网的组成架构	164
6.2.3 物联网软件系统组成	165
6.2.4 物联网产业链的基本组成	166
6.2.5 物联网体系结构设计的基本原则	167
6.2.6 M2M 体系结构	167
6.2.7 物联网的 EPC 体系结构	169
6.2.8 物联网的体系结构	170
6.2.9 物联网与物理信息融合体系结构	172
6.2.10 物联网相关产业体系	173
6.3 物联网技术体系	174
6.3.1 感知和识别技术	175
6.3.2 支撑技术	185
6.3.3 共性技术	188
6.3.4 网络与通信技术	190
6.3.5 物联网的应用技术	195
6.4 物联网标准化体系	198
6.4.1 国际物联网标准的制定	198
6.4.2 国内标准化工作	201
6.5 物联网的应用	202
6.5.1 物联网的应用前景	202
6.5.2 我国物联网应用现状	205
第7章 射频识别技术	207
7.1 射频识别技术的基本知识介绍	207
7.1.1 基本概念与技术特征	207
7.1.2 RFID 技术的产生、发展与展望	209
7.1.3 RFID 的系统分类	212
7.1.4 RFID 关键技术简介	214
7.2 射频识别系统的结构与原理	215
7.2.1 射频识别的系统结构	215
7.2.2 RFID 标准体系结构	216
7.2.3 射频识别系统的基本组成	217
7.2.4 射频识别系统的工作方法和流程	218
7.2.5 射频识别的耦合方式	218

7.2.6	读写器的多标签识别和防冲突原理	220
7.3	电子标签	222
7.3.1	电子标签简介	222
7.3.2	电子标签的系统结构与组成	224
7.3.3	电子标签的天线	227
7.3.4	电子标签的发展趋势	228
7.4	读写器	229
7.4.1	读写器简介	229
7.4.2	读写器的系统结构	230
7.4.3	读写器的发展趋势	232
7.5	射频识别的中间件	232
7.5.1	射频识别中间件概述	232
7.5.2	RFID 中间件系统框架	234
7.5.3	RFID 中间件及其产品	235
第8章	云计算技术与模式	237
8.1	云计算基本知识简介	237
8.1.1	云计算概念的由来	237
8.1.2	云计算的基本概念	238
8.1.3	云计算的优越特性	239
8.1.4	云计算的分类	241
8.2	云计算的研究现状与发展趋势分析	243
8.2.1	云计算的发展历程和出现的主要事件	243
8.2.2	国内外云计算标准化进展	246
8.2.3	云计算发展趋势分析	250
8.3	云计算的体系结构	252
8.3.1	云计算体系	252
8.3.2	云计算的组成和拓扑结构	253
8.3.3	云计算的逻辑架构和系统结构	254
8.3.4	云计算的技术体系结构	255
8.3.5	云计算的服务层次结构	256
8.3.6	云计算中的网络层次结构	258
8.3.7	云计算服务交易市场系统模型	260
8.3.8	主要云计算平台及其体系结构	261
8.4	云计算的相关技术	264
8.4.1	云计算与相关计算形式的关系	264
8.4.2	云计算的核心技术	267
8.4.3	虚拟化技术	271
8.4.4	云计算安全技术	276

第9章 新型传感器与无线传感器网络	279
9.1 传感器的技术基础	279
9.1.1 传感器简介	279
9.1.2 传感器的分类	281
9.2 新型传感器	283
9.2.1 红外线传感器	283
9.2.2 生物传感器	286
9.2.3 光纤传感器	287
9.2.4 智能传感器	291
9.2.5 模糊传感器	293
9.3 网络传感器	295
9.3.1 网络传感器的概念和结构模型	295
9.3.2 嵌入式网络传感器	295
9.3.3 基于现场总线、以太网和 TCP/IP 的网络传感器	297
9.3.4 无线网络传感器	299
9.3.5 IEEE 1451 标准所规划的网络传感器	301
9.4 无线传感器网络概述	303
9.4.1 无线传感器网络概念特点与技术要求	303
9.4.2 无线传感器网络的主要研究内容与应用领域	305
9.5 无线传感器网络体系结构与协议	307
9.5.1 无线传感器网络体系结构	307
9.5.2 无线传感器网络的拓扑结构	309
9.5.3 无线传感器网络传输协议	311
9.6 无线传感器网络应用支撑技术	315
9.6.1 时间同步	315
9.6.2 节点定位	317
9.6.3 传感器网络的电源节能技术	318
第10章 下一代因特网的接入技术	321
10.1 接入网概述	321
10.1.1 接入网的概念与结构	321
10.1.2 接入技术与标准简介	323
10.2 基于铜线的接入技术	323
10.2.1 xDSL 技术	324
10.2.2 HomePNA 接入技术与规范	326
10.2.3 基于以太网的宽带接入	331
10.2.4 基于有线电视网的接入技术	332
10.2.5 电力线接入技术	333
10.3 宽带光接入网	335
10.3.1 光接入网的基本概念和接入方式	335

10.3.2	光接入网的连网结构	337
10.3.3	无源光网络 PON	339
10.3.4	下一代光接入网络	342
10.3.5	混合光纤同轴电缆(HFC)接入技术	344
10.4	无线个域网接入	346
10.4.1	蓝牙无线接入技术	346
10.4.2	红外数据(IrDA)接入	351
10.4.3	HomeRF 接入技术	353
10.4.4	超宽带无线接入技术	355
10.4.5	近程双向无线 Zigbee 接入技术	358
10.5	无线局域网接入技术与标准	361
10.5.1	基于无线的移动局域网接入方式	361
10.5.2	基于无线的固定接入方式	361
10.5.3	无线局域网 WLAN 接入协议	364
10.6	无线城域网和无线广域网接入	366
10.6.1	无线城域网 WMAN 接入	366
10.6.2	无线广域网接入	368
10.7	下一代因特网接入网的部署和演进	371
10.7.1	接入网部署 IPv6 的原则	371
10.7.2	接入网部署 IPv6 的演进策略	372
缩略语		376
参考文献		392

第 1 章 下一代因特网的基础知识

1.1 下一代因特网的概况

1.1.1 从第一代因特网到第三代因特网

因特网又称作 Internet,它始建于 20 世纪 60 年代,当时采用数据包交换方式和统一标准的信息传输控制协议(TCP,Transport Control Protocol)/网际协议(IP,Internet Protocol),其网状的数据传输方式可以在即使局部设施遭受破坏后整体仍能工作。

TCP/IP 是因特网最基本的协议,是因特网上的“世界语”。正是由于 TCP/IP 协议的支撑,我们实现了计算机之间的互联,为因特网发展奠定了坚实的基础。到 20 世纪 80 年代,因特网还主要局限于为数不多的科研人员使用,它的操作界面全是文字信息,需要计算机使用者输入命令与机器对话,这有点像以前计算机所使用的磁盘操作系统。这个阶段,因特网的典型应用是收发电子邮件、传输文件、发布文字新闻及言论等,我们称为第一代因特网。

进入 20 世纪 90 年代后,欧洲高能物理研究中心为了能更好地与全世界的高能物理研究人员开展联合研究,发明了超文本格式,把分布在网上的文件链接在一起。这样,用户只要在图形界面上单击鼠标,就能从一个网页跳到另一个网页,不仅可以看到文字信息,还可以获得丰富多彩的图片、声音、动画和影像等多媒体信息。这个阶段的因特网称作环球网(又叫万维网),它用超文本和多媒体技术改造了第一代因特网。

在环球网时代,用户只需坐在家,就可以浏览新闻、与人聊天、订购商品、欣赏影片……环球网改变了人们工作、学习和娱乐的方式,被称为第二代因特网。第二代因特网虽然比第一代因特网先进了许多,但也暴露出了严重的弱点。一方面,这两代因特网使用的都是 IP 版本 4(IPv4, IPversion 4)协议,其 32 位的地址空间只有大约 40 亿个地址可用,而且由于因特网在早期缺乏规划,造成了 IP 地址分配贫富不均的现象。IPv4 地址被分配完毕,将严重制约因特网的发展。另一方面,因特网上的信息未经过有效的规范和整理,使用起来非常不方便。

现在整个因特网就像一座堆满了书籍、无人整理的图书馆。用户只能通过手工检索大量的书目,以找到自己需要的信息。这种查找信息的方式像“地毯式轰炸”,一点儿都不像“精确打击”,与插上插头就能用电那种便利无法相比。

针对第二代因特网所暴露的问题,第三代因特网将从 2 个角度加以解决。一个角度是发展 IP 版本 6(IPv6, IPversion 6),将地址空间由 32 位扩展到 128 位,这样,原来有限的 IP 地址将变得非常丰富,真正让数字化生活变成现实。IPv6 还能够改善端到端的安全性,有利于移动通信的发展,提高服务质量以及减轻系统管理负担。值得一提的是,在 IPv6 领域,我国已经达到国际先进水平。

解决第二代因特网所暴露的问题的另一个角度是发展“网格”技术,更好地管理网上的资源,将其虚拟成为一个空前强大的一体化信息系统,在动态变化的网络环境中,共享资源和协同解决问题,从而让用户从中享受可灵活控制的、智能的、协作式的信息服务,并获得前所未有的使用方便性。在这一点上,世界主要国家和地区都把发展网格技术放到了战略高度,纷纷投入巨资,抢占战略制高点。

1.1.2 现有因特网面临的挑战

在因特网获得了高速发展和应用普及的同时,其用户群体和外部环境也都发生了巨大的变化,因此,现有因特网已经被推向其能力的极限,面临着严重的挑战,其问题也越来越明显地暴露出来。

1. 安全、可信、可管问题

因特网最初是设计用于“用户自律、彼此信任”的小规模网络环境的,因此没有内置相关的安全机制。比如原来假设因特网的终端(如 PC)是在封闭环境下使用的,因此操作系统和应用系统软件也就只考虑了这种环境下的安全问题,不会去考虑开放环境下操作系统和应用的安全问题,终端的安全性也就主要依靠的是“物理隔离”。对于末梢网络,与因特网一起成长起来的以太网技术也是这样的假设,即只是在一个小范围的、可以相互信任的内部使用的局域网技术。因此,因特网后来解决安全的主要思路是“打补丁”,但遇到的问题是用户不愿意让解决安全问题的方案导致因特网易用性的降低,并且同时希望把安全责任转嫁给别人。因此,当成千上万的病毒和蠕虫等驻留在 PC 和软件中时,从用户到软件开发商再到因特网服务提供商(ISP, Internet Service Provider),谁都不需要为此而负责。人人都对因特网安全负责,那就意味着人人都不需要对因特网安全负责。

现有因特网对恶意攻击几乎不设防,安全体系先天不足。由于网络安全的脆弱性,引起危害损失的不可预测、不可恢复、不可控制,也造成人们对网络的不信任。纵然有防火墙、杀毒软件等措施,还是不能保证网络的绝对安全。构建可持续发展的因特网安全信任机制也将是因特网面临的巨大挑战之一。

目前因特网已被公认为不可控、不可管系统,在面对盗版和黄色等非法行为和内容时缺乏有效的监管手段,因此造成了巨大的损失。

2. 对新应用、新设备、高速传输的支持问题

随着网络应用的普及,计算机网络也产生了许多新的应用,像分布式多媒体应用(如视频会议、视频点播、IP 可视电话、远程教育等),不仅包括文本数据信息,还包括话音、图形、图像、视频、动画这些类型的多媒体信息。这类应用不仅对网络有很高的带宽要求,而且要求信息传输的低延迟和低抖动。由此可见,高速网络中的多媒体应用对网络提出了不同于最初数据应用的服务质量要求,需要提供端到端的服务质量控制和保证。

同时,最初的计算机网络主要面向固定主机,而随着计算机技术、传感器技术、通信技术的发展,设计出了许多可移动的、精简的计算机系统,或其他移动设备,这些系统也具有接入因特网的需求。再如随着光通信技术的成熟,无论是主干网还是个人终端,将向更高速发展,现在的交换模式及协议将不适应高速传输的需求。

3. 部署新协议困难

因特网采用层次型网络体系结构,对等层之间的通信要采用相同协议。这使得新协议能广泛应用于因特网都需要一个前提:通过标准化过程成为一个标准协议。但针对用户需求的新协议,从提议到形成标准需要多年的时间和周期,使得网络提供商无法针对用户需求变化而及时地提供相应服务。所以目前的因特网体系结构缺乏灵活性,新协议和新服务不能及时应用到因特网中,延缓了因特网基础设施的进化速度。

4. 性能问题

到目前为止,因特网已经拥有超过 44 万台骨干路由器和 900 万条边界网关协议 (BCP, Border Gateway Protocol) 路由,谷歌索引的网页数目累积到 1 万亿以上,视频网站每分钟增加 13h 的视频内容。相对于这些应用,因特网流量正在以每年 50% ~ 60% 的速度增长。随着物联网概念的引入,将会有数以万亿级的物品接入因特网。因特网正在日趋庞大和复杂化,如何使其具有良好的性能,将是因特网发展的首要问题。

5. 地址扩展性问题

虽然理论上 IPv4 的地址数可以达到 40 亿个,但由于地址分配的不合理和不平衡,以及因特网规模、覆盖范围和用户的高速增长,因特网应用范围和新应用的层出不穷 (尤其是近年来移动因特网、物联网和家庭网络等的兴起),都对 IPv4 地址资源的日益短缺产生了重要的影响。

6. 路由扩展性问题

全球路由表一直呈现出超线性的增长速度。路由表的不断膨胀导致运营商不断更换新的路由器,运营成本也不断上升,但用户感受到的转发性能却不断下降。造成路由表快速增长的主要原因是流量工程 (约占 1/3)、用户的多宿主接入和更小地址前缀 (主要用于路由优化和流量分摊) 越来越多等。

7. 服务质量问题

因特网只提供最基本的“连通性”服务,即最大限度地把不同的网络与网络、网络与终端连接起来,而连通过程中的质量和安全如何保证等没有考虑在设计之内。造成因特网只是提供尽力而为 (Best Effort) 服务的原因是多方面的,主要是因为无连接的包交换技术、动态路由技术、智能终端和多应用支持等造成的。

8. 移动性支持问题

因特网的设计是基于固定 (有线) 方式的接入、终端是计算机的环境考虑的,未能考虑移动应用环境中无线网络和小型终端可能带来的问题,这直接体现在 WWW/TCP/IP 等协议的设计上。例如,IP 地址同时具有定位 (Locator) 和身份标识 (Identity) 的作用,当在移动环境下网络附着点发生变化而身份信息不变时,IP 地址的双重作用出现冲突,导致因特网无法直接支持移动性。

9. 利益冲突问题

“端到端透明”的因特网,使得参与因特网的用户、ISP、因特网内容服务供应商 (ICP, Internet Content Provider)、软件商和内容商等之间的地位平等了,这在带来了因特网繁荣和发展的同时,也使得不同角色之间缺乏“利益冲突”的相互制衡机制。这种冲突主要体现在用户和 ISP、ISP 和 ICP 以及 ISP 相互间的网间结算 3 个方面。例如,用户和 ISP 之间“自助餐式” (即包月制) 的计费方式,使得支付同样费用的 5% 的个人对个人 (P2P, Person

to Person)用户占用了 50% 的网络资源;内容提供商对因特网的盗版问题深恶痛绝,多年抗争却几乎没有什么效果。ISP 网间结算政策是小 ISP 向大 ISP 付费,“穷人向富人交钱”,是一种典型的不平等协议,也是导致全球性范围内的因特网鸿沟越拉越大的原因之一。

10. 域名服务问题

域名服务器(DNS,Domain Name Server)是因特网后来加上去的,最初目的是为了方便用户使用的“增值服务”,但目前已经成长为因特网主要基础设施。域名服务系统采用的是层次化结构,全球有 13 台根服务器处于最顶层,其中一些根服务器由营利性公司(美国 VeriSign)来管理。这种全球性因特网的关键服务,由一个国家实际控制下的公司来运作的现象,公正性已经受到了多方质疑。此外,DNS 系统技术的脆弱性使其容易受到攻击。2008 年,Dan Kaminsky 发现 DNS 协议存在巨大漏洞,震惊了全球因特网界;2009 年 5 月,暴风影音的漏洞导致我国 10 余个省市 DNS 域名解析服务瘫痪。因特网工程任务组(IETF,Internet Engineering Task Force)的 DNSSec 工作组在现有的协议上增添了加密和认证功能,但实际应用发展缓慢。

11. 绿色问题

目前,信息和通信技术(ICT, Information and Communication Technology)产业对全球 GDP 贡献约为 7%,CO₂ 排放量约 2%,与全球航空运输业相当。而 ICT 产业 CO₂ 的排放主要来自与因特网密切相关的计算机(40%)和服务器(23%)。到 2007 年,因特网耗电量约占全球总电量的 5.4%,美国因特网耗电量约占美国总电量的 9.3%,中国约占 4.3%(笔者的估算),ICT 已经成为全球第 5 大耗能产业。服务器的电费成为相关企业的高额支出,如 Google 的 100 万台服务器每年电费已经超过了购买这些设备的费用,Google 的 1 次搜索,其所消耗的能量相当于 11W 的灯泡亮 1h。

1.1.3 下一代因特网的概念

下一代因特网(NGI,Next Generation Internet)是以 IPv6 为核心,包括一系列新技术和新应用的全新因特网架构,可有效支撑物联网、智慧地球、云计算等新的信息化应用的网络模式。NGI 与现有因特网的区别不仅体现在技术层面上,还存在于应用层面上,将给许多技术提供更广阔的施展空间,虚拟现实技术、流媒体技术、无线技术、网格技术、网络存储技术等都将在 NGI 上得到广泛应用。

从协议角度看,NGI 是基于 IPv6 协议的因特网;从资源角度看,NGI 是网格;从内容角度看,下一代万维网是语义万维网或语义网;从带宽角度看,NGI 是宽带因特网或高速因特网;从移动角度看,NGI 是宽带移动因特网。

NGI 技术是崭新的,从光纤到路由、交换器,再到上层的服务器,甚至操作系统、各种系统软件,以及与此相关的各种标准,都将产生革命性的变革。NGI 将不仅仅是一个网站的集合,而是一个应用和信息发布的全球性计算平台,并将取代传统的客户机/服务器模式。在 NGI 中,各种家电、汽车电子、通信设备都将全面联网,使数据、话音和视频等网络实现真正意义上的融合。它将把人类带进真正的数字化时代:家庭中的每一个物件都将可能分配一个 IP 地址,一切都可以通过网络来调控。NGI 还是一类社会概念的因特网,互联的不仅是终端(PC、计算机、手机等),而是真实的社会需要。作为最有竞争力的主流